Blok 6

INHOUD

BASISSTOF

HERHAALSTOF

LEERDOELEN

1. Je moet de arm van een kracht kunnen bepalen. [P1, T1, W1]
2. Je moet het moment van een kracht ten opzichte van het draaipunt kunnen berekenen. [P1, T1, W1]
3. Je moet weten dat draaiingen worden veroorzaakt door momenten en dat de sterkte van een draaiing dus wordt bepaald door de grootte van het moment dat de draaiing veroorzaakt. [P1, T1, W1]
4. Je moet weten dat momenten een richting hebben: met de wijzers van de klok mee of tegen de wijzers van de klok in. [P1, T1, W1]
5. Je moet de momentenwet kennen: dat in een evenwichtssituatie het totale moment met de klok mee gelijk is aan het totale moment tegen de klok in. [P1, T1, W1]

Draaien

6 Je moet weten wat een eenparige cirkelbeweging is. [P2, T2, W2]

7 Je moet weten wat de omtreksnelheid, de omlooptijd, het toerental en de frequentie bij een cirkelbeweging is. [P2, T2, W2]

8 Je moet de formule voor de omtreksnelheid kennen en kunnen toepassen in allerlei situaties. [P2, T2, W2]

9 Je moet weten wat een overbrenging is. [P3, T3, W3]

10 Je moet weten dat het toerental bij een overbrenging verandert. Je moet de formule waarmee je deze verandering berekent, kennen en kunnen toepassen. [P3, T3, W3]

T1 Over krachten en momenten

Krachten

Het is in de natuurkunde, maar ook in de techniek, vaak belangrijk te weten of een voorwerp gaat bewegen of juist stil blijft staan. Neem bijvoorbeeld een brug. Het is wel handig als je van tevoren kunt berekenen dat de brug die je gaat maken, stil blijft liggen en niet naar beneden valt als er een autobus overheen rijdt (figuur 1).

De vraag is dus: wanneer blijft een voorwerp stil liggen? In de natuurkunde zeggen we dit meestal anders: wanneer is er evenwicht van krachten?

Het antwoord heb je al eerder geleerd: de krachten moeten *even groot* zijn en *tegengesteld* van richting. Een heel duidelijk voorbeeld daarvan zie je bij een touwtrekwedstrijd. Er is evenwicht als beide partijen even hard trekken in tegengestelde richting (figuur 2). De beide teams en het touw komen niet van hun plaats.
Een ander voorbeeld van evenwicht heb je in de volgende situatie: Mick en Tim duwen tegen een deur (figuur 3). Ze duwen op dezelfde plaats tegen de deur. Als Mick en Tim even hard duwen dan zal de deur stil blijven staan. De krachten van Mick en Tim zijn even groot en tegengesteld aan elkaar.

FIG. 1 De autobus zakt niet door de brug.

FIG. 2 De krachten heffen elkaar op: er is evenwicht.

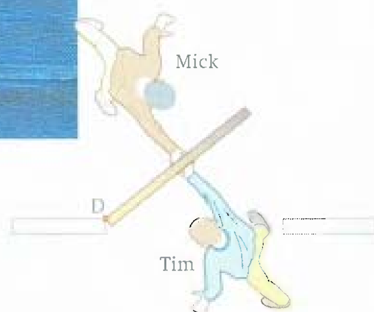


FIG. 3 Bovenaanzicht van Mick en Tim die even hard tegen een deur duwen. De deur blijft stilstaan.

Mick is slim en wil graag winnen. Kijk maar naar de volgende tekening (figuur 4). Mick duwt nu op een andere plaats tegen de deur, maar nog steeds even hard.

De deur zal gaan bewegen, maar niet zo maar. De deur gaat draaien om punt D. Uit dit eenvoudige voorbeeld kun je de volgende conclusies trekken.

1 Ook in gevallen waar de krachten even groot (en tegengesteld) zijn, is beweging mogelijk. Dit zijn dan wel draaibewegingen.

2 De sterkte van de draaiing hangt niet alleen af van de grootte van de kracht maar ook van de afstand tot het draaipunt. Hoe groter de afstand tot het draaipunt hoe sterker het draaiend effect van een kracht.

Hoe je de sterkte van een draaiing aangeeft, leer je in de rest van T1.

De arm van een kracht

We hebben gezien dat de afstand van de kracht tot het draaipunt belangrijk is om de sterkte van het draaiend effect van de kracht te bepalen. Deze afstand wordt de *arm* genoemd. De arm wordt aangeduid met het symbool *l*. Soms is de bepaling van *l* erg eenvoudig, soms vrij ingewikkeld. Ga altijd als volgt te werk:

1 Teken de werklijn van de kracht.

2 Meet de afstand van het draaipunt tot aan de werklijn. Dit doe je door zó vanuit het draaipunt naar de werklijn te 'lopen' dat je *loodrecht* uitkomt.

In figuur 5 zie je drie voorbeelden waarin de arm *l* is aangegeven. De arm *l* vind je door vanaf D *loodrecht* naar de werklijn te lopen. Denk er om dat *l* lang niet altijd de afstand van D tot het *aangrijpingspunt* van de kracht is. Dit blijkt uit de figuren 5b en 5c.

FIG. 4 Mick en Tim duwen even hard. Toch wint Mick.

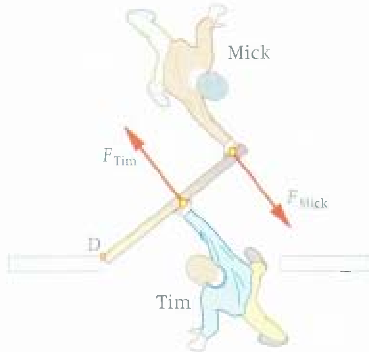
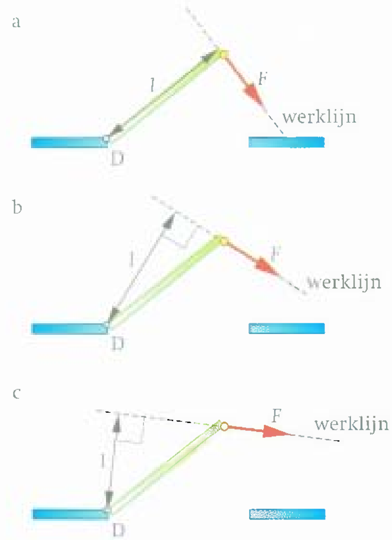


FIG. 5 In de figuren a, b en c zie je steeds dezelfde deur getekend en zijn draaipunt D. Op de deur werkt steeds een kracht *F*. De arm *l* vind je door vanaf D *loodrecht* naar de werklijn te lopen.



Het moment van een kracht

Hoe sterk het draaiend effect van een kracht is, kun je zien aan het *moment* van die kracht. De formule waarmee je het moment M van een kracht F ten opzichte van het draaipunt D berekent, is als volgt:

$$M = F \cdot l$$

In deze formule is:
M het moment van de kracht in Nm;
F de kracht in N;
l de arm van de kracht in m.

Twee opmerkingen:

1 Omdat voor een moment twee dingen nodig zijn, namelijk een kracht F en een draaipunt, meestal D genoemd, spreken we van het moment van F ten opzichte van D.

2 Besteed veel aandacht aan het bepalen van de arm l. Dit kan makkelijk fout gaan als je niet precies volgens de genoemde regels werkt. Het toepassen van de formule voor M is niet zo moeilijk als je l eenmaal hebt.

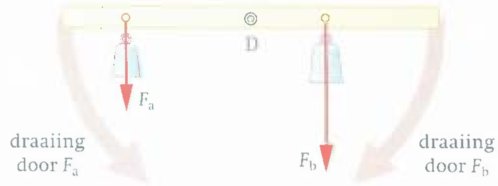
De momentenwet

Momenten zijn in de natuurkunde ingevoerd om de sterkte van draaiingen aan te geven. Dus een draaiing om een draaipunt D wordt veroorzaakt door het moment van een kracht ten opzichte van D. Omdat je twee kanten kunt opdraaien, heb je ook twee soorten momenten:

1 Momenten die een draaiing *met de wijzers van de klok meegeven*. Afgesproken is momenten met de klok mee *negatief* te noemen.

2 Momenten die een draaiing *tegen de wijzers van de klok in geven*. Afgesproken is momenten tegen de klok in *positief* te noemen.

FIG. 6 Twee momenten die elkaar tegenwerken.



Momenten kunnen elkaar ook tegenwerken. In figuur 6 zie je een latje opgehangen in D waaraan twee gewichtjes hangen. De gewichtjes veroorzaken allebei een kracht op het latje. Deze twee krachten zijn als vectoren aangegeven.

Beide krachten veroorzaken een draaiing, want beide krachten hebben een moment ten opzichte van het draaipunt D. Het moment van F_A is *positief*, want het moment van F_A geeft een draaiing *tegen de wijzers van de klok in*. Het moment van F_B is *negatief* omdat het een draaiing *met de klok meegeeft*. Je ziet dus dat twee krachten die dezelfde kant op wijzen best tegengestelde momenten kunnen leveren.
Of het latje zal gaan draaien hangt af van de sterkte van de twee momenten. Is het moment van F_A groter dan zal het latje tegen de klok in gaan draaien. Is het moment van F_B groter dan is de draaiing met de wijzers van de klok mee. Voor evenwicht is dus noodzakelijk dat de twee momenten even groot zijn. Zo krijgen we een nieuwe evenwichtsvoorwaarde die ook wel de *momentenwet* wordt genoemd:

Voor evenwicht is noodzakelijk dat het totale moment tegen de wijzers van de klok in gelijk is aan het totale moment met de wijzers van de klok mee.

In formulevorm wordt dit: $M_+ = M_-$

In deze formule is:
M_+ het totale moment tegen de wijzers van de klok in, dus het *positieve* moment;
M_- het totale moment met de wijzers van de klok mee, dus het *negatieve* moment.
LET OP: de eenheid van moment is Nm.

VOORBEELD 1

Hessel probeert een deur dicht te duwen (figuur 7). Hoe hard moet Quinten duwen om de deur tegen te houden?

Eerst nog wat uitleg bij het opschrijven van de gegevens: De gegevens van deze som staan in de figuur. Omdat we de momentenwet gaan toepassen, moeten we eerst de *armen* van $F_{Quinten}$ en F_{Hessel} bepalen. De werklijnen zijn in figuur 7 gestippeld getekend. het draaipunt is natuurlijk het scharnier (D in figuur 7). De arm van $F_{Quinten}$ is dus 70 cm. De arm van F_{Hessel} is 50 cm (70 cm − 20 cm).
Laat je niet beetnemen door de manier waarop de arm van F_{Hessel} gegeven is. Mensen die niet goed opletten, zouden hiervoor wel eens gedachteloos 20 cm kunnen nemen. Denk altijd goed na welke afstand je eigenlijk moet hebben.
Quinten draait de deur tegen de wijzers van de klok in. Hij veroorzaakt dus een *positief* moment. Hessel wil de deur met de wijzers van de klok mee laten draaien. Hij veroorzaakt dus een *negatief* moment.

Gegeven:
$l_{Quinten}$ = 70 cm = 0,7 m
l_{Hessel} = 50 cm = 0,5 m
F_{Hessel} = 280 N

Gevraagd:
$F_{Quinten}$

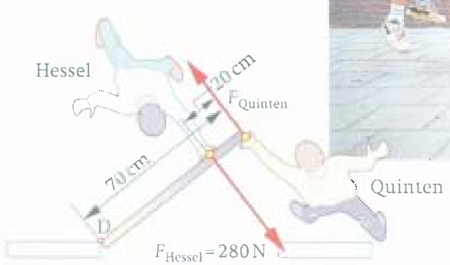


FIG. 7 Bovenaanzicht van Quinten en Hessel die tegen een deur duwen.

Formule:
$M_+ = M_-$

Oplossing:
Omdat $M = F \cdot l$, geldt:
$F_Q \cdot l_Q = F_H \cdot l_H$
$F_Q \times 0{,}7 = 280 \times 0{,}5$

$$F_Q = \frac{140}{0{,}7} = 200 \text{ N}$$

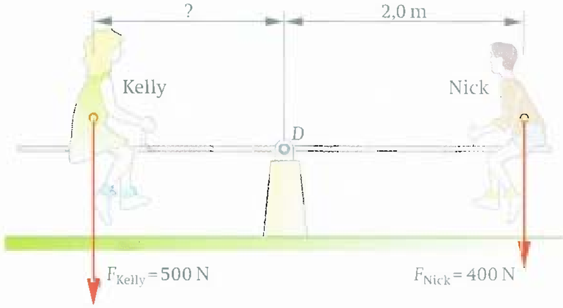
Quinten maakt slim gebruik van de momentenwet. Hij hoeft maar 200 N kracht uit te oefenen, terwijl Hessel met 280 N moet duwen.

VOORBEELD 2

Kelly en Nick spelen op de wip (figuur 8). Zij zijn niet even zwaar. Toch willen ze de wip in evenwicht houden. Waar moet Kelly op de wip gaan zitten om voor evenwicht te zorgen?

FIG. 8 Kelly en Nick spelen op de wip.

FIG. 9 Kelly en Nick op de wip.



Eerst kort wat uitleg bij het opschrijven van de gegevens: De gegevens van deze som staan in figuur 9. De vraag 'Waar moet Kelly zitten?' betekent dat de *arm* van F_{Kelly} gevraagd wordt.

Kelly draait de wip tegen de wijzers van de klok in. Zij veroorzaakt dus een *positief* moment. Nick draait de wip met de wijzers van de klok mee. Hij veroorzaakt dus een *negatief* moment.

Gegeven:

$F_{Kelly} = 500$ N
$l_{Nick} = 2{,}0$ m
$F_{Nick} = 400$ N

Gevraagd:

l_{Kelly}

Formule:

$M_+ = M_-$

Oplossing:

$F_K \cdot l_K = F_N \cdot l_N$
$500 \times l_K = 400 \times 2{,}0$

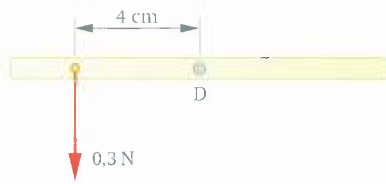
$$l_K = \frac{800}{500} = 1{,}6 \text{ m}$$

Omdat Kelly zwaarder is, moet zij dichter bij het draaipunt gaan zitten.

1 **a** Wanneer zijn twee krachten in evenwicht?
b Wanneer zijn twee krachten die een draaiing willen veroorzaken, in evenwicht?
c Waar hangt de sterkte van een draaiing vanaf?
d Wat is de werklijn van een kracht?
e Hoe bepaal je de arm van een kracht?

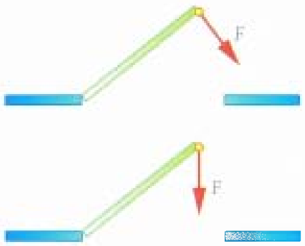
2 **a** Wat wordt bedoeld met het moment van een kracht?
b Bereken het moment van de kracht in figuur 10.
c Is het moment positief of negatief? Licht je antwoord toe.

FIG. 10 Het moment van een kracht.



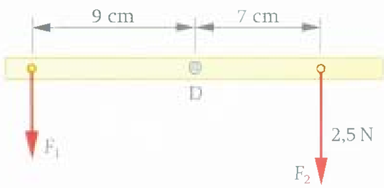
3 Je kunt een deur op twee manieren dichttrekken (figuur 11).
a Neem beide tekeningen nauwkeurig over en geef het draaipunt D aan.
b Teken in beide figuren de werklijn van de kracht.
c Geef in beide figuren de arm van de kracht aan.
Gegeven is nu dat in beide figuren de kracht 80 N is. De schaal van de figuren is 1 op 40. Dat betekent 1 cm in de figuur is 40 cm in werkelijkheid.
d Bereken voor beide manieren het moment ten opzichte van het draaipunt.
e Wat is de beste manier om de deur dicht te trekken?

FIG. 11 Het dichttrekken van een deur.



4 In figuur 12 zie je een balans in evenwicht. D is het draaipunt.
Bereken hoe groot F_1 is.

FIG. 12 Een balans in evenwicht.



5 Nog een tekening van een balans (figuur 13). De balans is weer in evenwicht. D is het draaipunt.
Bereken de arm van F_2.

FIG. 13 Een balans in evenwicht.

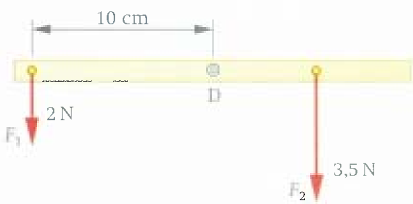
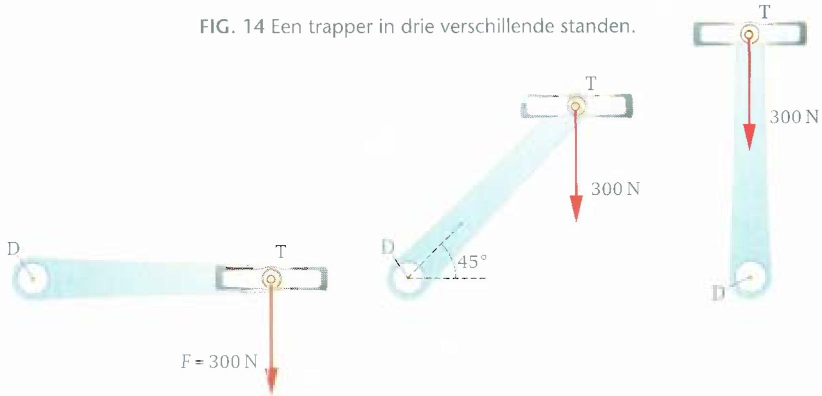


FIG. 14 Een trapper in drie verschillende standen.



6 In figuur 14 zie je een trapper van een fiets in drie verschillende standen.

a Neem de drie tekeningen zorgvuldig over. In werkelijkheid is de afstand DT 16 cm. Maak hem in je tekening 3,2 cm. Je gebruikt dan een schaal waarbij 1 cm in je tekening overeenkomt met 5 cm in werkelijkheid.

b Teken voor alle drie de standen van de trapper de werklijn van de kracht *F*.

c Bepaal voor alle drie de standen de arm van *F* ten opzichte van het draaipunt D.

d Bereken voor alle drie de standen het moment.

e In welke stand heeft de trapkracht het grootste draaieffect?

T2 Cirkelbewegingen

Altijd maar draaien...

Cirkelbewegingen kom je veel tegen. Denk maar aan het draaien van wielen, wasmachinetrommels, cassettebandjes, enzovoort. In T2 zullen we eerst deze cirkelbewegingen wat nader gaan bekijken.
Een belangrijk soort cirkelbeweging is de beweging die wordt 'gemaakt' door motoren. Uit bijna alle motoren komt een as die ronddraait. Zelfs op de fiets, als je zelf de 'motor' bent, is het resultaat van het trappen een ronddraaiende as. Namelijk de as waar de trappers op zijn gemonteerd.
De beweging van de ronddraaiende as van de motor wordt vervolgens *overgebracht* op het voorwerp dat moet draaien. Soms gaat dat direct, maar meestal via tandwielen, kettingen of snaren. Zo wordt bij een boormachine de boor via een aantal tandwielen aangedreven (figuur 15). In een cassetterecorder vindt de overbrenging plaats met een snaartje (figuur 16). Bij een fiets of een bromfiets gaat de overbrenging met een ketting. In T3 gaan we verder in op deze overbrengingen.

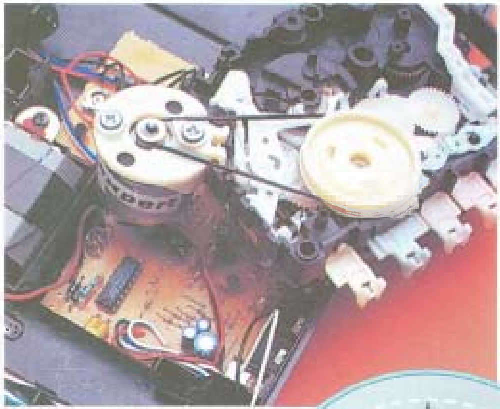
Cirkelbewegingen

Een voorwerp dat met een *constante snelheid in een cirkel beweegt*, voert een zogenoemde *eenparige cirkelbeweging* uit. We gaan dit type beweging eens nader bekijken. We beginnen met een voorbeeld. Een auto rijdt met een constante snelheid op een cirkelvormig circuit (figuur 17).

FIG. 15 De overbrenging in een boormachine.

De diameter van het circuit is 200 m. Marleen wil de snelheid van de auto bepalen. Zij doet dit door te meten hoe lang de auto over één rondje doet. Ze meet dat de auto 25 seconde nodig heeft voor één rondje. Ze redeneert nu als volgt: Als de diameter van de cirkelbaan 200 m is, dan is de omtrek van deze cirkel $200 \times \pi = 628$ m. (π is immers afgerond 3,14.) De auto rijdt langs de omtrek van de cirkel. De auto doet dus 628 m in 25 s. Dat is per seconde 628 : 25 = 25,1 m (afgerond). De snelheid van de auto is dus 25,1 m/s. (Marleen past hier eigenlijk de formule $v = s/t$ toe met $s = 628$ m en $t = 25$ s.)

FIG. 16 De aandrijving van een cassetterecorder.



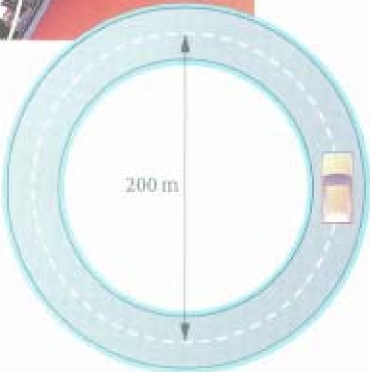


FIG. 17 Een auto op een cirkelvormig circuit.

De snelheid die Marleen heeft berekend, noemen we de *omtreksnelheid* (omdat de beweging langs de omtrek van een cirkel is).
Door het voorbeeld van de auto goed te bekijken kunnen we een algemene regel voor het berekenen van de omtreksnelheid vinden. Marleen berekende de omtreksnelheid door de omtrek van de cirkel te delen door de tijd die nodig is voor één rondje. De omtrek van een cirkel is $\pi \cdot d$ met d = de diameter (of $2\pi \cdot r$ met r = de straal van de cirkel). De tijd nodig voor één rondje noemen we de *omlooptijd T*. We vinden dus als formule voor de omtreksnelheid bij een cirkelbeweging met constante snelheid:

$$v = \frac{\pi \cdot d}{T}$$

In deze formule geldt:
v is de omtreksnelheid in m/s;
$\pi \cdot d$ is de omtrek van de cirkel in m;
T is de omlooptijd (tijd voor één rondje) in s.

In de praktijk wordt vaak niet de omlooptijd gegeven maar het *toerental n*. Dit is het *aantal omwentelingen per minuut*. Hoe kun je nu uit het toerental de omlooptijd T berekenen? Aan de hand van een eenvoudig voorbeeld is dat gemakkelijk te begrijpen: Stel het toerental n is 30 omwentelingen per minuut. Hoeveel tijd is er dan nodig voor één rondje? Als er 30 rondjes gedaan worden in 60 seconde, snap je wel dat het antwoord 60 gedeeld door 30, dus 2 seconde is. Om de omlooptijd T te vinden, moet je dus 60 (seconde) delen door het toerental 30. Dit geeft de volgende formule:

$$T = \frac{60}{n}$$

In deze formule geldt:
T is de omlooptijd in seconde;
60 is het aantal seconde in een minuut;
n is het toerental in omwentelingen per minuut.

DE TWEE FORMULES GECOMBINEERD

In je informatieboekje staat de volgende formule voor de omtreksnelheid:

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60}$$

Hierin is d weer de diameter van de cirkelbaan en n het toerental. Deze formule is als volgt te begrijpen. Als het toerental n is, dan heb je n rondjes per minuut. De lengte van één rondje is $\pi \cdot d$, dus van n rondjes $n \cdot \pi \cdot d$. Deze n rondjes kosten 60 seconde. Dus een afstand s van $n \cdot \pi \cdot d$ in een tijd t van 60 seconde. Dus $v = s/t = n \cdot \pi \cdot d/60$. Je kunt ook deze formule gebruiken. Welke formule het handigst is, hangt van het soort som af.

VOORBEELD 1

Een stoeltje van een zweefmolen doorloopt met een constante snelheid een cirkelbaan met een diameter van 10 meter. In een halve minuut maakt het stoeltje 5 omwentelingen. Bereken de omtreksnelheid.

Gegeven:
$d = 10$ m

$$T = \frac{30 \text{ s}}{5} = 6 \text{ s}$$

Gevraagd:
v

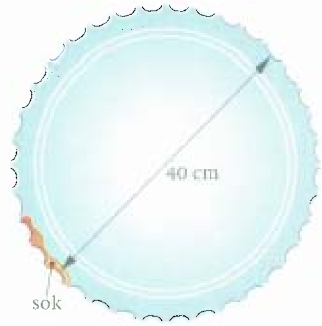
Formule:

$$v = \frac{\pi \cdot d}{T}$$

Oplossing:

$$v = \frac{\pi \times 10}{6} = 5{,}2 \text{ m/s}$$

FIG. 18 Een sok in een centrifuge.



RIJDEN ZONDER EN MET SLIPPEN

Als een voertuig met wielen op een normale manier rijdt (dus zonder slippen), *dan is de snelheid van het voertuig gelijk aan de omtreksnelheid van de wielen.* Twee voorbeelden bevestigen deze regel:

1 Een auto zit verzakt in de modder. De wielen draaien met grote (omtrek)snelheid rond, maar de snelheid van de auto is nul!

2 Een auto remt voluit op een glad wegdek. De wielen staan stil (de omtreksnelheid is nul), maar de auto heeft nog steeds snelheid!

VOORBEELD 2

We kijken van bovenaf naar een sok die in een centrifuge ligt (figuur 18).
De centrifuge draait met een toerental van 2000 omwentelingen per minuut. Bereken de snelheid van de sok.

Gegeven:
$d = 40 \text{ cm} = 0{,}4 \text{ m}$
$n = 2000 \text{ omw/min}$

Gevraagd:
v

Formule:

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60}$$

Oplossing:

$$v = \frac{\pi \times 0{,}4 \times 2000}{60} = 42 \text{ m/s}$$

Tot slot van dit stukje over cirkelbewegingen nog een heel belangrijke regel: Als een voertuig met wielen op een normale manier rijdt (dus zonder slippen), *dan is de snelheid van het voertuig gelijk aan de omtreksnelheid van de wielen.*

VOORBEELD 3

Een fiets heeft wielen met een diameter van 65 cm. De snelheid van de fiets is 18 km/u. Hoe groot is de omlooptijd van de wielen?

Gegeven:
$v_{fiets} = 18 \text{ km/u} = 5 \text{ m/s}$
$d = 0{,}65 \text{ m}$

Gevraagd:
T

Formule:

$$v = \frac{\pi \cdot d}{T}$$

Oplossing:
We bedenken eerst dat de omtreksnelheid gelijk is aan v_{fiets}.

$$5 = \frac{\pi \times 0{,}65}{T}$$

$$5 \times T = \pi \times 0{,}65$$

$$T = \frac{\pi \times 0{,}65}{5} = 0{,}41 \text{ s}$$

BLOK 6 BASISSTOF

W2

1 Wat wordt er bedoeld met:
a de omlooptijd van een cirkelbeweging;
b het toerental van een cirkelbeweging;
c de frequentie van een cirkelbeweging;
d de omtreksnelheid van een cirkelbeweging?

2 Welke *twee* formules ken je om de omtreksnelheid te berekenen?

3 Een grammofoonplaat met een straal van 15 cm draait rond met een toerental van 33 omw/min.
a Bereken de omlooptijd van de plaat.
b Bereken de omtreksnelheid van de buitenkant van de plaat.
c Leg uit wat er gebeurt met de omtreksnelheid van de plaat ten opzichte van de naald, als de naald dichter bij het midden van de plaat komt.

4 Een auto heeft wielen met een straal van 30 cm. De wielen draaien 3 maal per seconde rond.
a Bereken de omlooptijd van de wielen.
b Bereken de snelheid waarmee de auto rijdt.
De auto gaat nu 144 km/u rijden.
c Bereken het toerental van de wielen.
d Bereken de frequentie van de wielen.

5 Karst fietst met een snelheid van 18 km/u. Zijn voorwiel heeft een diameter van 65 cm.
a Bereken de omlooptijd van zijn voorwiel.
b Bereken het toerental van zijn voorwiel.

BLOK 6 BASISSTOF

T3 Overbrengingen

De as die uit een motor komt, heeft vaak een te hoog of te laag toerental. Het toerental waarmee je de trappers van een fiets ronddraait, is bijvoorbeeld te laag. Zouden de trappers rechtstreeks aan het wiel zitten, dan krijg je nooit een redelijke snelheid tenzij je een heel erg groot wiel neemt. Daarom wordt een *overbrenging* gebruikt. Bij een overbrenging wordt de draaiing van een as overgebracht op een andere as. Dit kan met behulp van tandwielen (figuur 19). Maar ook met een ketting (zoals op je fiets) of met een snaar. Een snaar werkt net zoals een ketting maar dan zonder getande wielen (figuur 20).

FIG. 19 Een tandwieloverbrenging met *verschillende* draairichting.

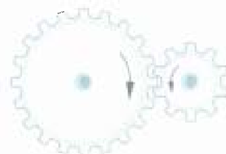
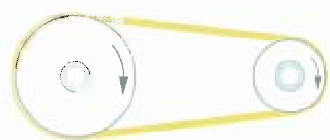


FIG. 20 Een snaaroverbrenging met *gelijke* draairichting.



Bij een overbrenging kan de draairichting veranderen (figuur 19) maar dat hoeft niet (figuur 20). Overbrengingen worden heel vaak gebruikt om het toerental te veranderen. Bekijk figuur 21 maar eens.

FIG. 21 Tandwiel 1 heeft twee keer zoveel tanden als tandwiel 2.

Hier zie je een tandwiel 1 dat een tandwiel 2 aandrijft. Tandwiel 1 is twee keer zo groot als tandwiel 2. Dat wil zeggen dat tandwiel 1 een twee maal zo grote diameter heeft. Maar ook een twee maal zo grote omtrek. Dus ook twee maal zo veel tanden (tel maar na).
Nu hebben tandwiel 1 en 2 *dezelfde omtreksnelheid.* Als dat niet zo was, zouden ze in het raakpunt P langs elkaar heen slippen en dat kan niet vanwege de tanden. Maar omdat tandwiel 1 twee maal zo groot is, duurt één rondje daar twee maal zo lang. Anders gezegd: als tandwiel 1 één keer is rond gegaan, dan is tandwiel 2 al twee keer rond gegaan. Nog anders gezegd: *het toerental van tandwiel 2 is twee maal zo groot als het toerental van tandwiel 1.*
Deze regel geldt heel algemeen: is bij een overbrenging het ene wiel n maal zo groot als het andere wiel, dan heeft het kleine wiel een n maal zo groot toerental. We kunnen dit in een formule zetten:

$$n_1 \cdot d_1 = n_2 \cdot d_2$$

In deze formule geldt:
n_1 is het toerental van wiel 1 in omw/min;
d_1 is de diameter van wiel 1;
n_2 is het toerental van wiel 2 in omw/min;
d_2 is de diameter van wiel 2 (in dezelfde eenheid als bij d_1).

Nu is het zo dat op een twee keer zo groot tandwiel twee keer zo veel tanden passen. Dus een twee maal zo grote diameter d betekent ook een twee maal zo grote z. Met z bedoelen we het aantal tanden op de omtrek van het tandwiel. In figuur 21 is z voor het grote tandwiel 20 en voor het kleine tandwiel 10.
Daarom geldt bij tandwieloverbrengingen ook: $n_1 \cdot z_1 = n_2 \cdot z_2$. Vul maar in ter controle: $1 \times 20 = 2 \times 10$.

Dus voor tandwielen geldt ook de formule:

$$n_1 \cdot z_1 = n_2 \cdot z_2$$

In deze formule geldt:
n_1 is het toerental van wiel 1 in omw/min;
z_1 is het aantal tanden van wiel 1;
n_2 is het toerental van wiel 2 in omw/min;
d_2 is het aantal tanden van wiel 1.

VOORBEELD

Een elektromotor heeft een toerental van 1500 omw/min. Door een tandwieloverbrenging wil men het toerental terugbrengen tot 500 omw/min. Op de as van de elektromotor wordt een tandwiel geplaatst met 45 tanden (tandwiel 1). Bereken het aantal tanden op het andere tandwiel (tandwiel 2).

Gegeven:
n_1 = 1500 omw/min
n_2 = 500 omw/min
z_1 = 45

Gevraagd:
z_2

Formule:
$n_1 \cdot z_1 = n_2 \cdot z_2$

Oplossing:
$1500 \times 45 = 500 \times z_2$

$$z_2 = \frac{1500 \times 45}{500} = 135$$

De oplossing kun je ook uit je hoofd doen: Als het toerental 3 × zo klein (van 1500 naar 500) moet worden, dan moet het aantal tanden 3 × zo groot worden (van 45 naar 135).

W3

1 **a** Noem drie soorten overbrengingen.
b Noem toepassingen van deze overbrengingen.

2 Voor een tandwieloverbrenging geldt $n_1 \cdot z_1 = n_2 \cdot z_2$.
a Leg uit wat de symbolen in deze formule betekenen.
Voor een snaaroverbrenging geldt $n_1 \cdot d_1 = n_2 \cdot d_2$.
b Leg uit wat de symbolen in deze formule betekenen.

3 Een elektromotor draait met een toerental van 400 omw/min. Via een tandwieloverbrenging moet dat toerental teruggebracht worden tot 50 omw/min. Op de as van de motor wordt een tandwiel gemonteerd met 20 tanden.
a Bereken het aantal tanden van het andere tandwiel.
b Wat kun je zeggen over de draairichting van beide tandwielen?

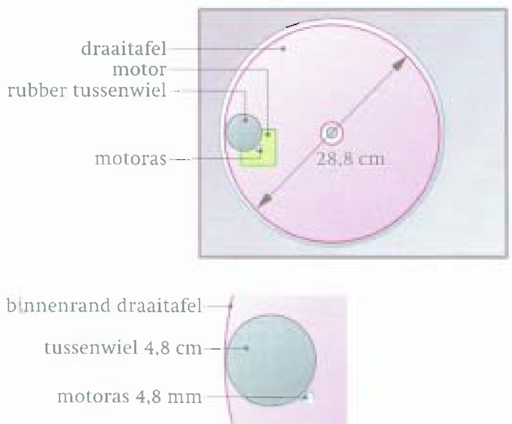
FIG. 22 De overbrenging bij een fiets met derailleur.

4 Een fiets heeft een tandwiel op de as van de trappers met 54 tanden. Het tandwiel op de achteras heeft 18 tanden (figuur 22). Mirjam trapt met een toerental van 35 omw/min. De diameter van het achterwiel is 72 cm.
a Bereken het toerental van de achteras.
b Bereken de snelheid waarmee Mirjam fietst.

5 Karst fietst met een snelheid van 27 km/u. Zijn voorwiel heeft een diameter van 65 cm. Zijn voorwiel drijft (zonder slip) het dynamowieltje aan. De diameter van het dynamowieltje is 1,3 cm.
a Bereken de omlooptijd van zijn voorwiel.
b Bereken het toerental van zijn voorwiel.
c Bereken het toerental van het dynamowieltje.

6 In sommige platenspelers wordt de draaitafel aangedreven met een rubberen tussenwiel (figuur 23).

FIG. 23 Het onderaanzicht van een draaitafel. De aandrijving staat onderaan nog een keer vergroot weergegeven.



De draaitafel draait met een toerental van 33 omw/min. De binnendiameter van de draaitafel is 28,8 cm. De diameter van het tussenwiel is 4,8 cm. De diameter van de motoras 4,8 mm.

a Bereken de omtreksnelheid van de binnenrand van de draaitafel.

b Bereken het toerental van het tussenwiel.

Als je het toerental van het tussenwiel hebt gevonden, kun je de overbrengingsformule nog eens toepassen op tussenwiel en motoras.

c Doe dit om het toerental van de motoras te berekenen.

Na jaren gebruik is het rubberen tussenwiel een beetje afgesleten, waardoor de diameter een beetje kleiner is geworden.

d Verandert hierdoor het toerental van de draaitafel? Licht je antwoord toe.

H1 Momenten

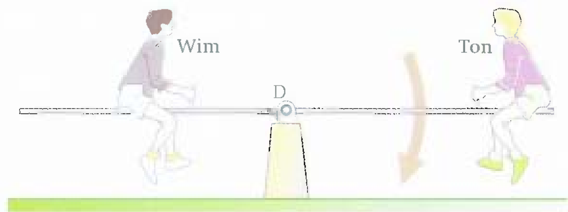


FIG. 24 Wim en Ton zitten op een wip.

VOORBEELD 1

Bekijk de tekening van de wip (figuur 24). Op deze wip zitten Wim en Ton die even zwaar zijn.

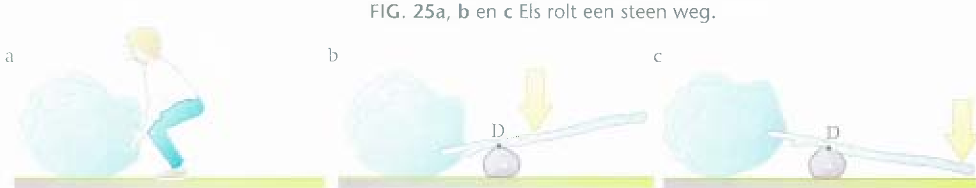
Toch slaat de wip door naar de kant van Ton. Hoe kan dat? Het enige verschil tussen Ton en Wim is dat Ton verder van het midden af zit.

VOORBEELD 2

In figuur 25a zie je Els die een grote zware steen probeert weg te rollen. Het lukt niet.

Ze pakt vervolgens een lang en sterk stuk hout en gebruikt dat op de manier van figuur 25b om de steen weg te rollen. Het lukt nog steeds niet. Maar als ze het stuk hout gebruikt op de manier van figuur 25c lukt het wel. Waarom lukt het dan wel en niet als ze duwt volgens figuur 25b? In beide situaties oefent Els immers evenveel kracht uit.

FIG. 25a, b en c Els rolt een steen weg.



Kracht en vorm

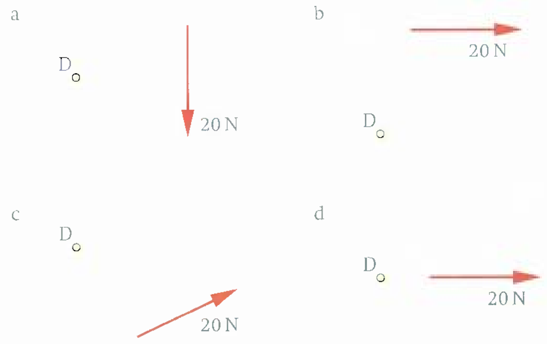
Je ziet hier twee voorbeelden van situaties waarbij *gelijke* krachten een *verschillend* effect hebben. En in beide gevallen ging het om draaiingen: bij de wip ging de wip draaien om het middelpunt van de wip (in figuur 24 aangegeven met een D). In figuur 25c ging het stuk hout draaien om het punt waar het op het kleine steentje lag (in figuur 25c aangegeven met een D).

Kennelijk is het zo dat als je het draaieffect van een kracht wilt bepalen, het niet voldoende is om alleen rekening te houden met de grootte van de kracht. Immers in figuur 24 zijn Ton en Wim even zwaar; toch heeft de kracht van Ton het grootste draaieffect. En Els oefent in figuur 25b en c een even grote kracht uit. Toch is het draaieffect van de kracht van figuur 25c groter. Waar zit het verschil dan in?
Om die vraag te kunnen beantwoorden spreken we eerst het volgende af: het punt waarom een voorwerp tijdens een draaiing draait, noemen we het draaipunt. In figuur 24 en 25 is dit aangegeven met D.
Het antwoord op de vraag luidt dan: *het draaieffect van een kracht wordt groter naarmate de afstand tot D groter wordt.*
Woorden als 'draaieffect' en 'afstand tot D' die je hier ziet staan, zijn wel handig om een beetje te begrijpen wat er aan de hand is. Maar ze zijn niet precies genoeg. Daarom gaan we nu wat afspraken maken:
Eerst spreken we af wat we bedoelen met de arm van een kracht: *de arm van een kracht is de afstand van de werklijn van de kracht tot het draaipunt.*
Het bepalen van de arm is iets dat je heel precies volgens de regels moet doen. Hoe die regels zijn staat in T1.

1 Lees die regels nog eens aandachtig door en bestudeer de bijbehorende voorbeelden.

2 Bepaal nu voor de krachten in figuur 26 de arm ten opzichte van D.

FIG. 26 Het bepalen van de arm.



Vervolgens vervangen we het woord 'draaieffect' door het woord 'moment'. We spreken af: het moment M van een kracht F bereken je met de volgende formule:

$M = F \cdot l$

In deze formule is l de arm. Je ziet dat je M alleen maar kunt bepalen, als je weet waar het draaipunt zit. Anders kun je immers l niet meten.
Draaiingen worden dus veroorzaakt door momenten. Nu kun je twee kanten op draaien: met de wijzers van de klok mee en tegen de wijzers van de klok in.
Daarom wordt de volgende afspraak gemaakt:
Momenten die draaiingen *tegen de wijzers van de klok in veroorzaken noemen we positief.*
Momenten die draaiingen *met de wijzers van de klok mee veroorzaken zijn dan dus negatief.*

3 Bepaal voor elk van de krachten in figuur 26 hoe groot het moment is.

De momentenwet

We gaan nog een keer kijken naar figuur 24. We zien nu waarom de wip doorslaat naar de kant van Ton: het moment van de kracht die Ton op de wip uitoefent, is groter. Deze kracht heeft immers een grotere arm.

We kunnen nu ook de voorwaarde opstellen die moet gelden om de wip in evenwicht te krijgen: het moment van Wim en Ton moet hetzelfde zijn. Dit is een voorbeeld van de momentenwet. Deze wet luidt als volgt: een voorwerp is in evenwicht als het totale moment dat een draaiing tegen de klok in veroorzaakt gelijk is aan het totale moment dat een draaiing met de klok mee veroorzaakt. In formule:

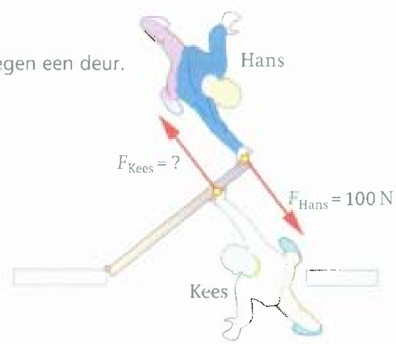
$M_+ = M_-$

4 Ga met behulp van de momentenwet na dat de wip van figuur 27 in evenwicht is.

5 In figuur 28 zie je van bovenaf Hans en Kees die tegen een deur aanduwen. De schaal is 1 op 30.
a Neem de figuur over en geef het draaipunt D aan.
b Teken de werklijnen van F_{Hans} en F_{Kees}.
c Hoe hard moet Kees duwen om te voorkomen dat Hans de deur dicht duwt?

FIG. 27 Een wip in evenwicht.

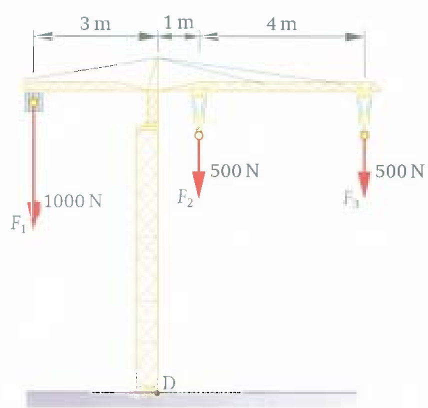
FIG. 28 Hans en Kees duwen tegen een deur.



Vaak zijn er maar twee momenten: één met de klok mee en één tegen de klok in. Soms zijn er meer momenten. De momentenwet gaat dan als volgt: 'verzamel' alle momenten tegen de klok in en tel die op. Gebruik in de momentenwet nu M_+ voor het resultaat van deze optelling. Doe hetzelfde voor de momenten met de klok mee en schrijf die onder M_-.

6 In figuur 29 zie je een hijskraan. Als de hijskraan naar rechts om zou vallen is D het draaipunt. Laat zien dat uit de momentenwet volgt dat de kraan precies op de grens zit tussen omvallen en blijven staan.

FIG. 29 Een hijskraan.



Zwaartepunt

In veel gevallen speelt de zwaartekracht een rol. Als je de zwaartekracht die op een voorwerp werkt als een pijl (vector) moet tekenen, ga je als volgt te werk:
Bepaal eerst de ligging van het zogenoemde zwaartepunt Z. Hiervoor zijn twee mogelijkheden:
1 Z ligt in het midden van het voorwerp. Dit kan natuurlijk alleen maar bij eenvoudig gevormde voorwerpen, zoals homogene balken. 'Homogeen' wil zeggen overal even dik, van hetzelfde materiaal enzovoorts. Voor ingewikkelde voorwerpen is het midden niet precies te bepalen.
2 Z is aangegeven in een tekening.

Teken vervolgens een pijl die begint in Z en *altijd* verticaal omlaag wijst. De grootte van de zwaartekracht bereken je met $F_z = m \cdot g$. In deze formule is m de massa en $g = 10$ m/s^2. Hoe lang de zwaartekracht-pijl moet worden hangt af van de schaal die je gebruikt.

7 In een kruiwagen ligt een zak zand (figuur 30). De massa van de zak zand is 60 kg. Z is het zwaartepunt van de zak zand. De massa van de kruiwagen zelf laten we buiten beschouwing.
a Neem de tekening over en geef het draaipunt D aan.
b Teken de zwaartekrachtsvector van de zak zand. Noem deze vector F_{zak}. Gebruik als schaal 1 cm ≙ 200 N.
c Bepaal de arm van F_{zak} en $F_{Marieke}$.
d Bereken $F_{Marieke}$.

FIG. 30 Een kruiwagen met een zak zand.

BLOK 6 HERHAALSTOF

H2 Draaien en overbrengen

In dit herhaalblad herhalen we aan de hand van eenvoudige voorbeelden de leerstof over cirkelbewegingen en overbrengingen.

De cirkelbeweging

Het voorwiel van een op zijn kop staande fiets krijgt een flinke zet (figuur 31). Hierdoor gaat het ventiel een cirkelbeweging uitvoeren.

FIG. 31 Een fietswiel krijgt een zet.

De omlooptijd *T*: De omlooptijd is de tijd die het ventiel nodig heeft om één keer rond te gaan. Met een stopwatch meten we voor het ventiel een omlooptijd van 0,8 seconde.

1 Hoe groot is dan de omlooptijd van een spaak?

De frequentie *f*: De frequentie is het aantal keer dat het ventiel in één seconde rondgaat. Er geldt:

$$f = \frac{1}{T}$$

2 Bereken de frequentie waarmee het ventiel ronddraait.

Het toerental n: Het toerental is het aantal keer dat het ventiel in 1 minuut (60 seconde) rondgaat. Het toerental is dus 60 maal zo groot als de frequentie:

$$n = 60 \times f$$

3 Bereken het toerental van het ventiel.

ONTHOUD: Voor elk punt van het wiel is het toerental (en dus ook de omlooptijd en de frequentie) hetzelfde.

De omtreksnelheid v: Met de omtreksnelheid wordt de afstand bedoeld die een ronddraaiend voorwerp in een seconde aflegt. De omtreksnelheid wordt berekend door de afgelegde afstand s te delen door de tijd t die daarvoor nodig was:

$$v = \frac{s}{t}$$

De in één omloop afgelegde afstand is de omtrek van de cirkel: $\pi \cdot d$. De tijdsduur die daarbij hoort is de omlooptijd T.
Dus: voor s kun je invullen $\pi \cdot d$ en voor t kun je invullen T. Dan ziet de vorige formule er zo uit:

$$v = \frac{\pi \cdot d}{T}$$

Als het wiel niet slipt, is de omtreksnelheid altijd gelijk aan de snelheid waarmee wordt gereden. Het ventiel draait rond met een omlooptijd van 0,8 s. De diameter d van zijn cirkelbaan is gelijk aan twee maal de afstand van het ventiel tot de as: $d = 0{,}65$ m.

4 **a** Bereken de omtreksnelheid van het ventiel.
b Bereken de omtreksnelheid van een punt op de spaak dat 10 cm van de as af ligt.

ONTHOUD: De omtreksnelheid is *niet* voor ieder punt van het wiel hetzelfde, maar hangt af van de diameter van de door het punt beschreven cirkelbaan.

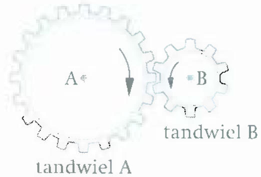
Overbrengingen

In veel machines zorgt een motor voor de aandrijving. Deze motor heeft een bepaald toerental en draairichting. Door gebruik te maken van een overbrenging kun je het toerental en/of de draairichting naar wens aanpassen.
Je moet drie soorten overbrengingen kennen:

1 tandwieloverbrenging;
2 kettingoverbrenging;
3 snaaroverbrenging.

Een kettingoverbrenging ken je van de fiets. In figuur 32 zie je een tandwieloverbrenging.

FIG. 32 Een tandwieloverbrenging.



Als het grote tandwiel A op het kleine tandwiel B ingrijpt (of B via een ketting aandrijft), hebben de tanden van beide wielen dezelfde omtreksnelheid. Omdat tandwiel B een kleinere diameter heeft zal tandwiel B ronddraaien met een kleinere omlooptijd. Gevolg hiervan is, dat het toerental van tandwiel B groter wordt. Heeft tandwiel B twee maal zo weinig tanden als tandwiel A, dan zal het toerental van tandwiel B twee maal zo groot worden.
Om dit te berekenen kun je ook de volgende formule gebruiken:

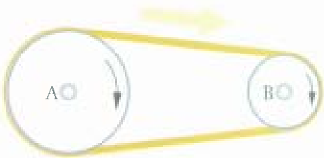
$$n_1 \cdot z_1 = n_2 \cdot z_2$$

Hierin is n_1 het toerental van tandwiel A, n_2 het toerental van tandwiel B, z_1 het aantal tanden op tandwiel A en z_2 het aantal tanden van tandwiel B.

5 Voor deze tandwielen geldt bijvoorbeeld $z_1 = 16$ en $z_2 = 8$. Het toerental van tandwiel A is 100 omw/min. Laat nu met behulp van de formule zien dat tandwiel B een twee maal zo groot toerental heeft.

In figuur 33 zie je een snaaroverbrenging.

FIG. 33 Een snaaroverbrenging.



De snaar loopt met dezelfde snelheid over beide wielen. De omtreksnelheden van de buitenkanten van de wielen zijn dus weer gelijk. Het toerental van wiel B is groter dan van wiel A, omdat wiel B een kleinere diameter heeft. (Wiel B moet vaker rond gaan om dezelfde afstand af te leggen als wiel A.) Net als bij de tandwieloverbrenging geldt: Als de diameter van wiel B twee maal zo klein is (dus ook een twee maal zo kleine omtrek heeft), dan krijgt wiel B een twee maal zo groot toerental.
Omdat we nu geen tanden hebben, wordt de formule voor de snaaroverbrenging iets anders: z (het aantal tanden) wordt vervangen door de diameter. Dus:

$$n_1 \cdot d_1 = n_2 \cdot d_2$$

Hierin is n_1 het toerental van wiel A, n_2 het toerental van wiel B, d_1 de diameter van wiel A en d_2 de diameter van wiel B.

6 Stel bij de overbrenging van figuur 33 is het toerental van wiel A 40 omw/min. We willen het toerental van wiel B berekenen.
a Meet daarvoor eerst in figuur 33 de diameter van wiel A en wiel B.
b Bereken nu het toerental van wiel B.

7 Op een boormachine die een toerental heeft van 2400 omw/min zit een slijpschijfje gemonteerd met een diameter van 5 cm.
a Bereken de frequentie waarmee het slijpschijfje ronddraait.
b Bereken de omtreksnelheid van de buitenste rand van het slijpschijfje.

8 Een fietser rijdt met een snelheid van 20 km/u. Zijn fiets heeft wielen met een straal van 32 cm.
a Bereken de snelheid van de fiets in m/s.
b Bereken het toerental van de fietswielen.

9 Een fiets heeft wielen met een diameter van 72 cm. De wielen hebben een frequentie van 2,5 omw/s.
a Bereken het toerental van de fietswielen.
b Bereken de snelheid van de fiets.
De kettingoverbrenging die gebruikt wordt, heeft op het achterwiel een tandwiel met 16 tanden. Op de as van de trappers zit een tandwiel met 54 tanden.
c Bereken het toerental waarmee wordt getrapt.

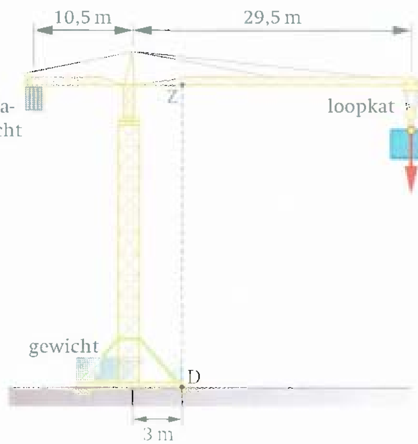
10 Een as van een elektromotor maakt 50 omwentelingen per seconde. Op de as zit een schijf bevestigd met een diameter van 5,5 cm. Via een snaar wordt een andere schijf aangedreven die een diameter heeft van 12,5 cm.
a Bereken de omtreksnelheid van de buitenkant van de schijf op de as van de elektromotor.
b Hoe groot is (dus) de snelheid van de snaar?
c Bereken het toerental van de elektromotor.
d Bereken het toerental van de grote schijf.

11 Een motor in een wasmachine heeft een toerental van 300 omw/min. De trommel wordt via een snaar door de motor aangedreven. Op de motoras zit een schijf met een diameter van 4 cm. Tijdens het wassen draait de trommel rond met een toerental van 40 omw/min.
Bereken de diameter van de schijf die aan de trommel vastzit.

H3 Oefenen met examenopgaven

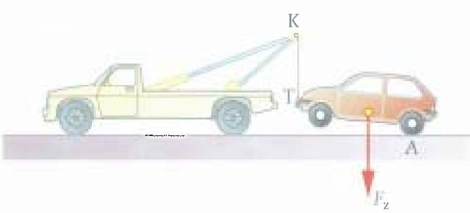
1 Kijk naar de tekening van een hijskraan (figuur 34). Je kunt er rechts een last mee ophijsen aan de 'loopkat'. Links hangt een contragewicht van 3 000 kg. Boven de verrijdbare voet is een gewicht van 12 000 kg geplaatst om de kraan stabieler te maken.
Zonder last en de twee genoemde gewichten heeft de kraan een massa van 8000 kg. Het zwaartepunt ligt in Z. Alle afstanden zijn in de tekening vermeld.
Bereken de maximale last die je kunt hijsen (zodat de kraan nèt niet kantelt) als de loopkat in C staat.

FIG. 34 Een hijskraan.



2 Een auto wordt met behulp van een takelwagen aan één kant opgetild, waardoor de auto versleept kan worden (figuur 35). De massa van de personenauto is 900 kg. De afstand tussen de achteras A en de trekhaak T aan de voorzijde van de auto is 3,00 m. Het zwaartepunt van de auto ligt 1,00 m achter de trekhaak. De kabel waarmee de takelwagen de auto ophijst, loopt verticaal naar de vaste katrol K.
a Bereken de grootte van de zwaartekracht F_z op de auto.
b Bereken de spankracht in de hijskabel die nodig is om de auto opgetild te houden.
Als de takelwagen een heel zware auto op moet tillen, kan de takelwagen gaan kantelen.
c Om welk punt zou de takelwagen kunnen gaan kantelen?
d Het is bij een takelwagen gewenst dat zijn zwaartepunt zo ver mogelijk naar voren ligt. Leg dit uit met behulp van het begrip 'moment van een kracht'.

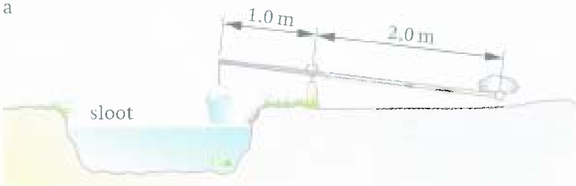
FIG. 35 Een takelwagen die een auto sleept.



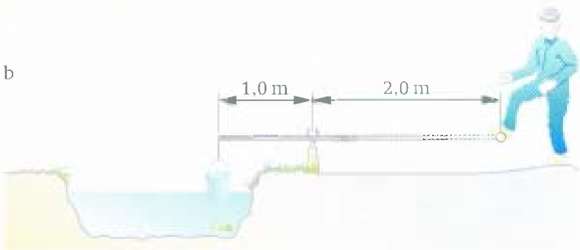
3 In figuur 36a zie je een hefboom waarmee op een primitieve manier water uit de sloot op het land wordt gebracht.
De korte arm van de hefboom is 1,0 m lang, de lange arm is 2,0 m lang. De massa van de hefboom moet je verwaarlozen.
Om de volle emmer makkelijker op te kunnen tillen, is aan het lange eind van de hefboom een steen bevestigd. De massa van de steen bedraagt 10 kg.

FIG. 36a en b Water halen met een hefboom.

a

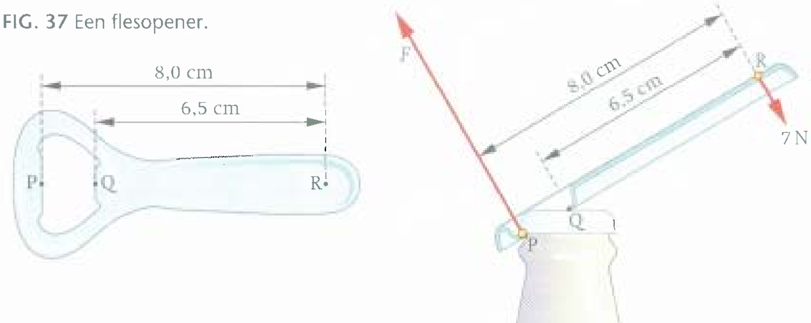


b



Zo'n hefboom wordt met de voet bediend. In figuur 36b is de emmer vol en houdt de man de hefboom met zijn voet in evenwicht door een kracht verticaal omlaag. De totale massa van de volle emmer is 42 kg.
Bereken de grootte van de kracht die de man in deze situatie op het uiteinde van de hefboom uitoefent.

FIG. 37 Een flesopener.



4 Een flesopener wordt gebruikt om een dop los te krijgen. In de situatie van figuur 37 is in R een kracht van 7 N nodig om de dop los te krijgen. Enkele maten zijn in de figuur gegeven.
De krachten in P en R zijn niet op schaal getekend.
a Bereken de grootte van de kracht *F* die dan in de aangegeven richting in P op de dop werkt.
De flesopener kan op twee manieren gebruikt worden om de dop van de fles te verwijderen (figuur 38).
De kracht waarmee de opener wordt bediend, grijpt beide keren aan in R en staat loodrecht op de opener.
b Op welke manier kun je met de minste kracht de dop van de fles verwijderen?
A op de manier van situatie 1.
B op de manier van situatie 2.
C dat maakt geen verschil.

FIG. 38 Twee manieren om een flesopener te gebruiken.

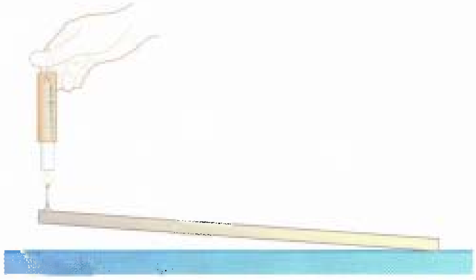
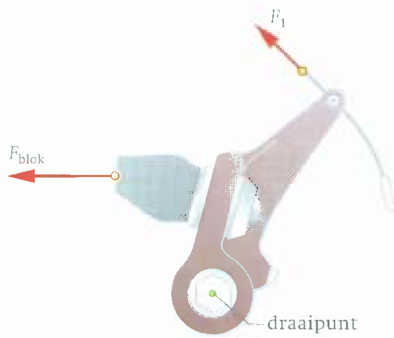


FIG. 39 Een staafje optillen met een krachtmeter.

5 Mark wil met een krachtmeter het gewicht van een staafje bepalen. Het staafje blijkt iets te zwaar voor de krachtmeter. Mark maakt nu de volgende opstelling (figuur 39). Hij heeft een touwtje aan het staafje vastgemaakt en tilt dat nu aan één kant op met de krachtmeter.
De krachtmeter wijst in deze situatie 2,0 N aan.
Hoe zwaar is het staafje?
A 1 N
B 2 N
C 3 N
D 4 N

6 Op een zogenoemde mountainbike zitten remmen waarmee je krachtig kunt remmen. In figuur 40 kun je de werking van de rem zien. Bij het remmen ontstaat een kracht F in de verticale kabel. Via de remkabels worden daardoor de remblokjes tegen de velg gedrukt.
De linkerkant van het remsysteem is in figuur 41 op ware grootte getekend. De krachten F_1 en F_{blok} zijn niet op schaal getekend. F_{blok} is de kracht die het remblokje op de velg uitoefent.
De spankracht F_1 in de remkabel is 30 N.
a Bereken het moment van F_1 ten opzichte van het draaipunt. (Meet hiertoe in figuur 41 de arm van F_1.)
Het moment van F_1 wordt bij het remmen overgebracht op het wiel.
b Vergelijk F_1 met F_{blok}.
A F_1 is kleiner dan F_{blok}.
B F_1 is gelijk aan F_{blok}.
C F_1 is groter dan F_{blok}.

FIG. 41 De rem op ware grootte.



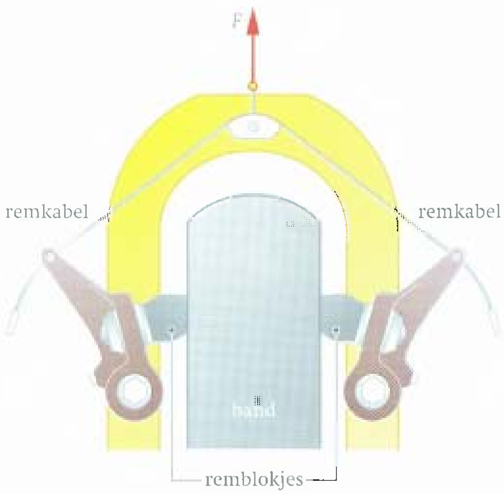


FIG. 40 De rem van een mountainbike.

7 In de winter houdt Sjaak zijn conditie op peil door op een rollenbank te fietsen. Hij zet daartoe het achterwiel van zijn fiets op de rollen. Het voorwiel van de fiets wordt bij de vooras gesteund, omdat Sjaak anders met zijn fiets omvalt (figuur 42).
Sjaak wil graag weten welke omtreksnelheid hij het achterwiel kan geven (op de vlakke weg is de omtreksnelheid gelijk aan de snelheid van de fiets). Om die omtreksnelheid te bepalen telt Sjaak al trappend het aantal omwentelingen van het grote tandwiel. Dat blijkt 120 omwentelingen per minuut te zijn.
De diameter van het fietswiel is 0,70 m. Het grote tandwiel heeft 54 tanden. Het kleine tandwiel achter heeft 18 tanden.
a Bereken de omtreksnelheid van het achterwiel.
Het blijkt dat de omtreksnelheid die Sjaak het achterwiel binnenshuis kan geven, groter is dan de omtreksnelheid die Sjaak bij windstil weer op de vlakke weg op deze fiets kan halen.
b Geef twee oorzaken voor de hogere omtreksnelheid binnenshuis op de rollenbank.

FIG. 42 Een fiets op de rollenbank.